



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 16 672 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
B 23 K 26/36
B 41 C 1/05

⑳ Aktenzeichen: 101 16 672.9
㉔ Anmeldetag: 4. 4. 2001
㉕ Offenlegungstag: 18. 10. 2001

DE 101 16 672 A 1

⑥6 Innere Priorität:
100 17 672. 0 08. 04. 2000

⑦1 Anmelder:
Jürgensen, Heinrich, 24223 Ralsdorf, DE

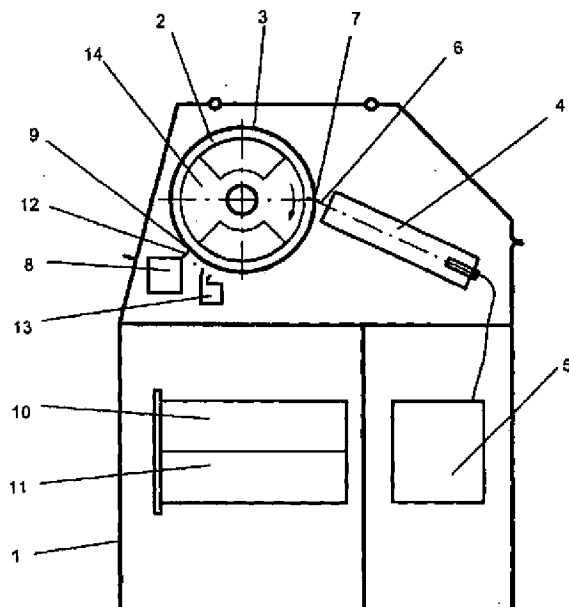
⑦2 Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 **Verfahren und Vorrichtung zur Materialbearbeitung**

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Materialbearbeitung von Werkstücken, insbesondere von Druckzylindern. In einer Druckvorlage werden Feinbereiche zur Bearbeitung von Feinstrukturen und Grobbereiche zur Bearbeitung von Grobstrukturen auf dem Druckzylinder (2) markiert. Die Feinbereiche werden mit mindestens einem Laserstrahl (6) einer Mehrstrahl-Laserstrahlungsquelle (4, 5) in einem Feinbearbeitungsfleck (7) fein bearbeitet, während die Grobbereiche mittels einer Aushebevorrichtung (8) in einem Grobbearbeitungsfleck (9) grob abgetragen werden. Der Materialabtrag in den Grobbereichen erfolgt entweder mit einem Laserstrahl (12) durch Schmelzen bzw. Verdampfen oder mechanisch mit einem Bearbeitungswerkzeug, beispielsweise mit einem Gravierstichel. Die Breite der Grobbearbeitungsspur der Aushebevorrichtung (8) umfaßt in zweckmäßiger Weise mehrere Feinbearbeitungsspuren der Laserstrahlungsquelle (4, 5). Das von der Aushebevorrichtung (8) abzutragende Material kann im Bereich des Grobbearbeitungsflecks (9) mittels einer Kühlvorrichtung (13) gekühlt werden. Das abgetragene Material wird abgesaugt. Eine eventuelle Unwucht des Druckzylinders (2) wird automatisch mittels einer Auswuchtungs Vorrichtung (14) festgestellt und dynamisch kompensiert.



DE 101 16 672 A 1

16

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Materialbearbeitung von Werkstücken, insbesondere von Druckformen, sowie eine Druckform zur Materialbearbeitung.

[0002] Das Verfahren zur Materialbearbeitung findet beispielsweise bei der Herstellung von Druckformen für den Flexodruck Anwendung.

[0003] Beim Flexodruckverfahren bilden die zu druckenden Elemente der Flexodruckform ähnlich wie beim Hochdruckverfahren ein Relief mit feinen und groben Strukturen. Das in der Praxis gebräuchliche Material für Flexodruckformen, die qualitativ anspruchsvollere Druckergebnisse erzeugen sollen, ist vorwiegend ein besonderes Kunststoffmaterial, das durch Einstrahlung von Energie im UV-Bereich gehärtet werden kann. Bei der Herstellung der Flexodruckform wird zunächst eine lichtempfindliche Maskenschicht auf der Oberfläche der Flexodruckform durch eine Kontaktbelichtung belichtet, entwickelt und fixiert. Danach folgt eine UV-Belichtung zur Durchhärtung der nach der Entwicklung freigelegten Partien in der Tiefe. Anschließend wird in einem Auswaschprozeß der nicht gehärtete Kunststoff entfernt.

[0004] Das Flexodruckverfahren ist in der Druckschrift "Der Laser in der Druckindustrie" von Werner Hülsbusch, Verlag W. Hülsbusch, Konstanz, auf den Seiten 571 bis 578 ausführlich beschrieben.

[0005] Das herkömmliche Herstellungsverfahren für Flexodruckformen ist insbesondere durch die UV-Belichtung und den Auswaschvorgang relativ aufwendig und zeitraubend. Außerdem ist die Qualität des im Flexodruck hergestellten Druckbildes aufgrund der relativ groben Raster heute noch deutlich schlechter als die des Offsetdrucks. Wünschenswert ist es daher, auch im Flexodruck die im Mehrfarbenoffsetdruck und im Tiefdruck üblichen Raster sowie stochastische Raster, auch frequenzmodulierte Raster genannt, zu verwenden.

[0006] Ein weiterer Nachteil des herkömmlichen Herstellungsverfahrens für Flexodruckformen ist die fehlende Passergenauigkeit, da mit dem Auswaschprozeß ein Aufquellen des Kunststoffmaterials verbunden ist. Weiterhin ist als nachteilig anzusehen, daß die Erzeugung kleiner druckender Rasterpunkte sehr schwierig ist, da bei der Kontaktbelichtung und bei der UV-Nachbelichtung Überstrahlungseffekte auftreten, die kleine Rasterpunkte zerstören.

[0007] Zur Verbesserung des Herstellungsverfahrens für Flexodruckformen wäre es außerdem wünschenswert, daß die kleinen Rasterpunkte, sobald ihr Durchmesser beispielsweise kleiner ist, als die Tiefe des Reliefs, auf einem stabilen Sockel stehen, damit sie nicht beim Drucken umkippen. Erwünscht sind auch noch zusätzliche Maßnahmen, wie zum Beispiel die Reduzierung der Flächenpressung bei kleinen Rasterpunkten im Druckprozeß. Das Auswaschen ist ein mechanischer Prozeß, bei dem große Materialmengen abgetragen werden müssen. Es ist deshalb sehr schwierig, einen solchen Prozeß auch gleichzeitig so zu beeinflussen, daß er die kleinen Rasterpunkte nicht angreift.

[0008] Es sind bereits Laserherbildungsanlagen vorgeschlagen worden, bei denen die zu druckende Information mittels eines Lasers direkt in die Maskenschicht gebrannt wird. Dadurch läßt sich zwar ein Zeitgewinn erzielen, das Auswaschen des nicht gehärteten Kunststoffs, die durch das Auswaschen verursachten Passerfehler und anderen Qualitätseinbußen können durch derartige Laserherbildungsanlagen nicht verbessert werden.

[0009] Aus der DE-C-195 44 502 ist bereits eine Lasergravieranlage bekannt, mit der eine Druckform, insbeson-

dere ein Druckzylinder, für den Flexodruck durch Materialabtrag mittels Laser direkt hergestellt werden kann. Auf einer gemeinsamen Strahlachse werden zwei Laserstrahlen zusammengeführt und auf die Bearbeitungsschicht eines rotierenden Druckzylinders gerichtet, wobei der eine Laserstrahl die Feinstrukturen und der andere Laserstrahl die Grobstrukturen erzeugt.

[0010] Die bekannte Lasergravieranlage hat Nachteile, wenn es um die Erstellung von Flexodruckformen mit sehr feinen Reliefs und mit relativ feinen Druckrastern für den Mehrfarbendruck geht.

[0011] In der bekannten Lasergravieranlage werden die Feinstrukturen nur mit einem einzelnen Laserstrahl bearbeitet, d. h. das Material wird je Umdrehung des Druckzylinders nur in einer Bearbeitungsspur abgetragen. Um feine Druckraster zu erzielen, muß die Materialbearbeitung mit geringen Abständen der einzelnen Bearbeitungsspuren erfolgen, wodurch sich in nachteiliger Weise eine lange Bearbeitungszeit bis zur Fertigstellung des Druckzylinders ergibt.

[0012] In der bekannten Lasergravieranlage werden aufgrund der Strahlführung größere Materialmengen an dem Bearbeitungsort geschmolzen und als Gaswolke verdampft. Durch die Gaswolke treten Störungen der Laserstrahlung auf, wodurch die Qualität der Druckform in nachteiliger Weise gemindert werden kann. Die Gaswolke kann darüber hinaus auch noch toxisch sein. Bei der Lasergravieranlage werden aber keine Maßnahmen ergriffen, mit denen die Bildung einer Gaswolke verhindert oder zumindest reduziert werden kann.

[0013] Die relativ lange Bearbeitungszeit könnte bei der Lasergravieranlage dadurch reduziert werden, daß die Drehzahl des Druckzylinders bei ausreichend vorhandener Laserenergie erhöht wird. In diesem Fall kann aber am Druckzylinder eine Unwucht aufgrund eines ungleichmäßigen Materialabtrags auftreten, die zu Vibrationen der Lasergravieranlage führen würde. Diese Maschinenvibrationen können die Qualität der Druckform ebenfalls mindern. Bei der Lasergravieranlage werden ebenfalls keine Maßnahmen ergriffen, um derartige Maschinenvibrationen zu verhindern, so daß die zulässige Drehzahl begrenzt ist.

[0014] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Materialbearbeitung von Werkstücken, insbesondere von Druckformen, sowie eine Druckform, derart zu verbessern, daß eine schnelle und genaue Materialbearbeitung mit relativ preisgünstigen Bearbeitungswerkzeugen erreicht wird.

[0015] Diese Aufgabe wird bezüglich des Verfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 1, bezüglich der Vorrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 34 und bezüglich der Druckform durch die Merkmale des Anspruchs 61 gelöst.

[0016] Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0017] Durch die Verwendung einer Mehrstrahl-Laserstrahlungsquelle zur Feinbearbeitung wird in bevorzugter Weise ein schneller und genauer Materialabtrag erreicht. Mit der Mehrstrahl-Laserstrahlungsquelle lassen sich insbesondere sehr glatte Konturen und feine Strukturen, beispielsweise kleine Rasterpunkte, erzeugen, die so ausgeformt sind, daß sie beim Druckvorgang nicht umkippen.

[0018] Durch Verwendung einer separaten Aushebevorrichtung für das grobe Ausheben größerer Materialanteile können in bevorzugter Weise kostengünstige Laser oder Laserdioden zur Anwendung kommen. Eine mechanische Aushebevorrichtung hat darüber hinaus den Vorteil, daß sie kostengünstiger und umweltfreundlicher ist, da das Schmelzen bzw. Verdampfen von Material entfällt und die Laser-

strahlung nicht durch eine Gaswolke beeinflusst wird.

[0019] Vorzugsweise umfaßt die Breite der Bearbeitungsspur der Aushebevorrichtung für die Grobbearbeitung mehrere Bearbeitungsspuren der Mehrstrahl-Laserstrahlungsquelle für die Feinbearbeitung, wodurch eine schnellere Materialbearbeitung erzielt wird.

[0020] Die Vorrichtung zur Materialbearbeitung weist vorzugsweise eine Auswuchtungseinrichtung zum automatischen Erkennen und Beseitigen der bei der Materialbearbeitung von rotierenden Körpern, beispielsweise von Druckzylindern, entstehenden Unwucht auf, wodurch die Genauigkeit der Materialbearbeitung erhöht wird. Ferner weist die Vorrichtung in vorteilhafter Weise Mittel zur Materialabsaugung und zur Materialkühlung auf.

[0021] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Fig. 1 bis 10 näher erläutert.

[0022] Es zeigen:

[0023] Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer Materialbearbeitungsvorrichtung im Querschnitt,

[0024] Fig. 2 eine Druckform mit einem bevorzugten Materialaufbau der Bearbeitungsschicht,

[0025] Fig. 3 eine Draufsicht auf einen Ausschnitt einer Druckform,

[0026] Fig. 4 einen Querschnitt durch die Druckform nach Fig. 2,

[0027] Fig. 5 ein Blockschaltbild für die Signalerzeugung in der Materialbearbeitungsvorrichtung,

[0028] Fig. 6 ein Ausführungsbeispiel für eine Auswuchtungseinrichtung in einer Seitenansicht,

[0029] Fig. 7 die Auswuchtungseinrichtung nach Fig. 5 im Schnittbild,

[0030] Fig. 8 ein Ausführungsbeispiel für eine mechanische Aushebevorrichtung,

[0031] Fig. 9 ein Ausführungsbeispiel für eine Aushebevorrichtung mit einer Laserquelle und

[0032] Fig. 10 ein Ausführungsbeispiel für eine Abstandsregelung der Aushebevorrichtung.

[0033] Fig. 1 zeigt eine Prinzipdarstellung einer Materialbearbeitungsvorrichtung im Querschnitt.

[0034] In einem Gehäuse (1) ist als zu bearbeitendes Werkstück ein rotierender Körper, im Ausführungsbeispiel ein Druckzylinder (2), mit einer Bearbeitungsschicht (3) aus einem bestimmten Material oder einem bestimmten Materialaufbau drehbar gelagert. Der Druckzylinder (2) wird von einem nicht dargestellten Antrieb in Rotation versetzt.

[0035] Eine Laserstrahlungsquelle (4, 5), vorzugsweise eine Mehrstrahl-Laserstrahlungsquelle, die im wesentlichen aus einer Laserkanone (4) und mindestens einem Fiberlaser (5) besteht, erzeugt mindestens einen Laserstrahl (6). Eine bevorzugte Ausführungsform der Laserstrahlungsquelle (4, 5) ist beispielsweise in der WO-A-00/13839 angegeben. Der Laserstrahl (6) trifft am Bearbeitungsort als Feinbearbeitungsfleck (7) auf die Bearbeitungsschicht (3) des Druckzylinders (2) auf. Der Feinbearbeitungsfleck (7) erzeugt Feinstrukturen durch Feinbearbeitung der Bearbeitungsschicht (3) in markierten Feinbereichen (FB) des Druckzylinders (2).

[0036] Anstelle der Laserstrahlungsquelle (4, 5) können auch ein oder mehrere andere Laser beispielsweise über optische Wellenleiter (Lichtleitfasern) angekoppelt werden oder direkt auf dem Schlitten angeordnet sein.

[0037] Eine separate Aushebevorrichtung (8) erzeugt Grobstrukturen durch Grobbearbeitung der Bearbeitungsschicht (3) des Druckzylinders (2) in einem Grobbearbeitungsfleck (9) in markierten Grobbereichen (GB) des Druckzylinders (2).

[0038] Die Laserstrahlungsquelle (4, 5) und die Aushebevorrichtung (8) werden in axialer Richtung (Vorschubrich-

tung) mittels eines nicht dargestellten Schlittens und eines weiteren Antriebs an dem Druckzylinder (2) entlang geführt. Die Aushebevorrichtung (8) ist beispielsweise so angeordnet, daß der Grobbearbeitungsfleck (9) auf der gleichen Umfangslinie des Druckzylinders (2) liegt, wie der Feinbearbeitungsfleck (7). Es kann aber auch die Umfangslinie des Grobbearbeitungsflecks (9) in Achsrichtung des Druckzylinders (2) vor oder nach der Umfangslinie des Feinbearbeitungsflecks (7) liegen. In Richtung der Umfangslinie ist in Fig. 1 zwar ein großer Abstand zwischen dem Feinbearbeitungsfleck (7) und Grobbearbeitungsfleck (9) vorgesehen, der Abstand kann aber durch eine Veränderung der Anordnung von Laserkanone (4) und Aushebevorrichtung (8) beliebig verändert werden.

[0039] Die Feinbereiche (FB) und/oder die Grobbereiche (GB) werden beispielsweise in einer Bearbeitungsvorlage, bei der Materialbearbeitung von Druckformen in einer Druckvorlage (DV) für die Druckform, markiert, indem Aufzeichnungsdaten (AD), welche die auf den Druckzylinder (2) zu bringende Information repräsentieren, in erste Steuersignale (FS, SD) für die Laserstrahlungsquelle (4, 5) und in zweite Steuersignale (GS) für die Aushebevorrichtung (8) umgewandelt werden (Fig. 5).

[0040] Eine erste Steuerungseinheit (10) ist für die Steuerung der Antriebe und aller anderen erforderlichen Steuerungsaufgaben vorgesehen. In der ersten Steuerungseinheit (10) werden auch die Modulationssignale für die Laserstrahlungsquelle (4, 5) und für die Aushebevorrichtung (8) erzeugt.

[0041] Die Aushebevorrichtung (8) kann als Laserquelle ausgebildet sein, die einen Laserstrahl (12) zur Grobbearbeitung der Bearbeitungsschicht (3) im Grobbearbeitungsfleck (9) erzeugt. Ein Ausführungsbeispiel für die Aushebevorrichtung (8) ist in Fig. 9 dargestellt.

[0042] In bevorzugter Weise ist die Aushebevorrichtung (8) als mechanische Aushebevorrichtung mit einem Bearbeitungswerkzeug, beispielsweise mit einem Gravierstichel eines elektromechanischen Gravierorgans, ausgerüstet, wobei der Gravierstichel den Grobbearbeitungsfleck (9) erzeugt. Der Vorteil der mechanischen Aushebevorrichtung (8) ist, daß das durch Spanbildung abgetragene Material nicht geschmolzen oder verdampft werden muß, was für eine umweltfreundliche Entsorgung des abgetragenen Materials von großem Vorteil ist. Ein Ausführungsbeispiel für eine mechanische Aushebevorrichtung (8) ist in Fig. 8 dargestellt.

[0043] Die Aushebevorrichtung (8) kann Mittel enthalten, um einen definierten Abstand der Aushebevorrichtung (8) oder von Teilen der Aushebevorrichtung (8) zur Oberfläche der Bearbeitungsschicht (3) einzustellen und während der Materialbearbeitung zu erhalten. Es kann ein mechanischer Abstandhalter, wie in Fig. 8 gezeigt, eingesetzt werden. Alternativ kann der Abstand mit einer berührungslosen Meßeinrichtung, beispielsweise einer optischen Meßeinrichtung, festgestellt und über ein Regelungssystem konstant gehalten werden. Ein Ausführungsbeispiel für eine Abstandsregelung der Aushebevorrichtung (8) ist in Fig. 10 angegeben.

[0044] Die Mittel zum Erzielen eines definierten Abstandes können auch dazu benutzt werden, einen definierten Abstand der Laserkanone (4) oder Teilen der Laserkanone (4) zur Oberfläche der Bearbeitungsschicht (3) einzustellen und während der Materialbearbeitung zu erhalten.

[0045] Die Materialbearbeitungsvorrichtung weist in bevorzugter Weise an sich bekannte Absaugvorrichtungen zum Entfernen des abgetragenen Materials auf, die sowohl in der Nähe des Feinbearbeitungsflecks (7) der Laserstrahlungsquelle (4, 5) als auch in der Nähe des Grobbearbeitungsflecks (9) der Aushebevorrichtung (8) angeordnet sind.

Ein Ausführungsbeispiel für eine Absaugvorrichtung an der Laserstrahlungsquelle (4, 5) ist beispielsweise in der WO-A-00/13841 beschrieben. Ein Ausführungsbeispiel für eine Absaugvorrichtung an der Aushebevorrichtung (8) ist in Fig. 9 dargestellt.

[0046] Die Materialbearbeitungsvorrichtung weist außerdem eine Kühlvorrichtung (13) auf, mit der das Material im Bereich des Grobbearbeitungsflecks (9) unmittelbar vor dem Ausheben abgekühlt wird, um vorübergehend eine größere Härte des Materials zwecks besserer Spanbildung beim Aushebevorgang zu erreichen. Beispielsweise wird zur Abkühlung ein feiner Strahl aus flüssigem Stickstoff auf den vorgesehenen Ort der Bearbeitungsschicht (3) gerichtet.

[0047] Die Materialbearbeitungsvorrichtung enthält vorzugsweise eine Auswuchtungseinrichtung (14) für den Druckzylinder (2), mit der Unwuchten ausgeglichen werden, die unter anderem infolge des Materialabtrags bei der Bearbeitung entstehen. Ein Ausführungsbeispiel für eine Auswuchtungseinrichtung ist in Fig. 6 und Fig. 7 angegeben.

[0048] Zur Erhöhung der Bearbeitungsgeschwindigkeit können auch mehrere Laserstrahlungsquellen (4, 5) und mehrere Aushebevorrichtungen (8) in derselben Materialbearbeitungsvorrichtung untergebracht sein und gleichzeitig beispielsweise Teilbereiche des Druckzylinders (2) bearbeiten. Anstelle des Druckzylinders (2) selbst können auch auf eine Trommel montierte Druckplatten bearbeitet werden. Beide Bearbeitungsvorgänge, die Grobbearbeitung und die Feinbearbeitung, können sowohl in verschiedenen Bearbeitungsdurchgängen als auch in einem Durchgang stattfinden.

[0049] Es liegt im Rahmen der Erfindung, das angegebene Verfahren zur Materialbearbeitung auch bei der Gravur von Tiefdruckzylindern anzuwenden, indem die großvolumigen Näpfchen des Tiefdruckzylinders (2) mittels der Aushebevorrichtung (8) und kleinvolumige Näpfchen mit der Laserstrahlungsquelle (4, 5) erzeugt werden. Dadurch ist es möglich, beispielsweise eine bessere Darstellung von Text und Stricharbeiten mit geringerer Verzitterung der Kanten vorzunehmen und/oder die sogenannten Stochastischen Raster (FM-Raster) aufzubringen.

[0050] Es liegt ferner im Rahmen der Erfindung, das angegebene Verfahren zur Materialbearbeitung nicht nur bei der Druckformherstellung, sondern auch in anderen Bereichen der Technik zu verwenden.

[0051] Fig. 2 zeigt eine Druckform (2) mit einem bevorzugten Materialaufbau der Bearbeitungsschicht (3). Eine mit einem Träger (15) verbundene erste Materialschicht (16) weist Materialeigenschaften auf, die an die Erzeugung von Grobstrukturen durch Laserstrahlung und/oder durch ein mechanisches Bearbeitungswerkzeug angepaßt sind. Eine über der ersten Materialschicht (16) liegende zweite Materialschicht (17) weist Materialeigenschaften auf, die an die Erzeugung von Feinstrukturen durch Laserstrahlung angepaßt sind.

[0052] Zwischen der ersten Materialschicht (16) und dem Träger (15) können noch eine oder mehrere Unterschichten (18) liegen. Die Schichten (16, 17, 18) sind in ihrer Flexibilität dem Druckverfahren angepaßt. In vorteilhafter Weise liegen zwischen den einzelnen Schichten (16, 17, 18) sogenannte Binderschichten (19), die für eine feste Verbindung zwischen den einzelnen Schichten sorgen, damit sie sich während des Druckvorgangs nicht ablösen.

[0053] Fig. 3 zeigt eine Draufsicht auf einen Ausschnitt (21) eines Druckzylinders (2). Dargestellt ist eine Anordnung von kleinen Rasterpunkten (20) in dem Ausschnitt (21) des Druckzylinders (2), der nach einer gemäß Fig. 4 in Feinbereiche (FB) und Grobbereiche (GB) eingeteilt

Druckvorlage (DV) bearbeitet wurde.

[0054] Fig. 4 zeigt einen Querschnitt durch den dargestellten Ausschnitt (21) entlang der versetzten Linie L-L. Die Feinbereiche (FB) wurden mit der Laserstrahlungsquelle (4, 5) auf die Tiefe T_L und die Grobbereiche (GB) mit der Aushebevorrichtung (8) auf die Tiefe T_G ausgehoben.

[0055] Üblicherweise besteht eine Druckvorlage (DV) für eine Druckform aus elektronisch gespeicherten Aufzeichnungsdaten (AD). Dabei wird nach der Art der Aufzeichnungsdaten (AD) in drei Kategorien unterschieden zwischen Bilddaten, die Pixelinformationen der einzelnen Bildpunkte mit unterschiedlichen digital quantisierten Intensitätsinformationen zu der jeweiligen Druckfarbe enthalten, Textdaten und Strichdaten (Linienmuster und dergleichen). Es können auch die Text- und die Strichdaten zu einer Kategorie zusammengefaßt werden. Es ist ausreichend und üblich, wenn die Kantenlängen der sogenannten Pixel von Bilddaten etwa um das 5- bis 10fache größer sind als die Kantenlängen der Elemente von Strich- und Textdaten, die zur besseren Unterscheidung der Begriffe auch "Pel" genannt werden und in Fig. 3 mit "22" bezeichnet sind.

[0056] Im Verlauf der Druckformherstellung werden die Aufzeichnungsdaten (AD) bekannterweise entsprechend dem gewünschten Seitenlayout und Zylinderlayout angeordnet. Die Bilddaten werden über einen sogenannten Raster-Image-Prozessor (RIP) in Rasterpunkte umgerechnet, die sich wiederum aus Pels (22) zusammensetzen. Die Größe der Pels (22) entspricht vorzugsweise denen der Text-Strichdaten. Ein Pixel hatte vor dem Rechenvorgang beispielsweise die Größe eines der durch die Diagonalen (23) in Fig. 3 gebildeten Quadrate, es kann aber auch größer oder kleiner gewesen sein. Die in den Pixeln enthaltenen Intensitätsinformationen sind jetzt in der anteiligen Fläche der Rasterpunkte niedergelegt. Die Berechnungen können vor der Bearbeitung der Druckform komplett durchgeführt werden, was aber einen relativ großen Speicher voraussetzt, um das Ergebnis für die gesamte Druckform (2) aufzunehmen.

[0057] Die Berechnungen können aber auch jeweils für den zur Bearbeitung anstehenden Teil der Druckvorlage (DV) während des Bearbeitungsvorgangs durchgeführt werden. In beiden Fällen ist jeweils die gesamte auf die Druckform zu übertragende Information aus Pels (22) vorzugsweise gleicher Größe zusammengesetzt. Beispielsweise beträgt die Größe eines Pels (22) für mittlere Qualitätsanforderungen in der Drucktechnik $25 \mu\text{m} \times 25 \mu\text{m}$, es werden aber oft auch Größen von $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ angegeben. Die Information wird mittels einer zeilenweisen Auslesung des Speichers zeilenweise in bekannter Weise auf den Druckzylinder (2) übertragen, wobei jede Zeile vorzugsweise einer Umdrehung des Druckzylinders (2) entspricht. Es können aber auch mehrere, beispielsweise sechzehn Zeilen gleichzeitig aus dem Speicher ausgelesen werden und der mehrkanaligen, beispielsweise 16-kanaligen Laserstrahlungsquelle (4, 5) zugeführt werden, die auf der Druckform (2) sechzehn Feinbearbeitungsspuren (24) gleichzeitig während einer Zylinderumdrehung graviert.

[0058] Vorzugsweise werden Grobbearbeitungsspuren (25) mittels eines dafür vorgesehenen Algorithmus ermittelt. Die Breite der Grobbearbeitungsspuren (25) ist vorzugsweise ein ganzzahliges Vielfaches der Feinbearbeitungsspuren (24). Mit den bekannten zur Verfügung stehenden Mitteln der elektronischen Bildverarbeitung ist es möglich, innerhalb einer Druckvorlage (DV) Konturen von Bild-, Text- und Strichdaten zu erkennen und zu manipulieren und beispielsweise um Text- und Strichdaten symmetrisch zu ihrer Kontur eine Randzone (R) als Schutzbereich zu legen, um die Grobbereiche (GB) von den Feinbereichen (FB) abzugrenzen. In gleicher Weise läßt sich in Bildern symme-

trisch um Zonen, die Rasterpunkte enthalten, eine Randzone (R) mit ähnlicher Breite errechnen, indem in dem Datenbestand untersucht wird, wo im Druckbild Rasterpunkte vorgesehen sind.

[0059] Fig. 4 zeigt eine Randzone (R) am Querschnitt der fertiggestellten Druckform. Die Berechnung der Randzone (R) muß nicht sehr präzise erfolgen. Das Ziel ist nur, der Druckvorlage (DV) ein Grobraster zu überlagern, das aus sogenannten Grob-Pels (26) besteht und in dem die Grob-Pels (26) als "auszuheben" oder "nicht auszuheben" markiert werden können. Die Kantenlänge des Grob-Pel (26) ist vorzugsweise die mit der Anzahl der gleichzeitig durchzuführenden Feinbearbeitungsspuren (24) multiplizierte Kantenlänge eines Pel (22), wenn die Breite einer Feinbearbeitungsspur (24) der Breite eines Pel (22) entspricht, was in Fig. 3 gezeigt ist. Es stehen in Fig. 3 die Bezeichnungen B1 bis B16 für die während einer Umdrehung des Druckzylinders (2) gleichzeitig gravierten Feinbearbeitungsspuren (24). Die beispielsweise während der nächsten Umdrehung gravierten Feinbearbeitungsspuren (24) sind mit B*1 bis B*16 bezeichnet, wobei ihre Gesamtheit die Breite der Grobbearbeitungsspur (25) ausmacht. Die Grob-Pels (26) sind in Fig. 3 durch gestrichelte Linien umrahmt und einige von ihnen mit A, B, C benannt, wobei nur das mit B bezeichnete Grob-Pel (26) aufgrund eines in der Druckvorlage (DV) markierten Grobbereichs (GB) ausgehoben worden ist.

[0060] Der Algorithmus zur Ermittlung der Grobbereiche (GB) besteht also darin, daß der gesamte Datenbestand für die Bearbeitung einer Druckform in Pels (22) und in Grob-Pels (26) eingeteilt wird, wobei die Grob-Pels (26) eine größere Fläche beschreiben als die Pels (22). Daraufhin wird untersucht, ob Grob-Pels (26) vorhanden sind, in denen keinerlei Pels (22) mit zu druckenden Informationen vorkommen. Dieses sind Kandidaten für eine Markierung, daß sie zum Ausheben freigegeben werden. In bevorzugter Weise werden aber auch noch die dem jeweiligen Grob-Pel (26) unmittelbar benachbarten acht Grob-Pels (26) auf zu druckende Informationen untersucht, und erst wenn diese acht unmittelbar benachbarten Grob-Pels (26) auch keine zu druckenden Informationen enthalten, wird das jeweilige Grob-Pel (26) als zur Bearbeitung freigegeben markiert. Dadurch wird zwar die Randzone (R) teilweise breiter als ein Grob-Pel (26), aber es ergeben sich größere Toleranzen für das Ausheben der Grobbereiche (GB). Der Durchmesser des Grobbearbeitungsflcks (9) entspricht vorzugsweise der Breite der Grobbearbeitungsspur (25). Es kann aber auch ein kleinerer oder größerer Grobbearbeitungsflck (9) eingestellt werden.

[0061] Bei der Feinbearbeitung können durch eine gezielte partielle, das heißt spezielle Orte im Druckbild betreffende, Auswertung von Aufzeichnungsdaten (AD), die während des Rechenvorganges zur Ermittlung der Grobbereiche (GB) durchgeführt wird, bei Zwischenspeicherung der Ergebnisse, noch weitere Modifikationen der Druckform vorzugsweise durch gezielte Intensitätssteuerung mittels analoger und/oder digitaler Modulation der Laserstrahlungsquelle (4, 5) vorgenommen werden die der Qualitätssteigerung im Druckprozeß dienen. Beispielsweise kann die Umgebung kleiner Rasterpunkte oder Details mit Säumen geringerer Gravurtiefe T_S , zu Materialsockeln (27) mit definierten Flanken (28) ausgeformt werden (Fig. 4) und/oder es kann von der Oberfläche kleiner Details wie beispielsweise der kleinen Rasterpunkte Material bis zu einer bestimmten Tiefe T_0 abgetragen werden. Es können auch alle größeren druckenden Flächen bis auf die Tiefe T_0 abgetragen werden und nur die feinen Details in der Höhe unverändert bleiben. Die Flanke (28) und/oder die Formgebung des Materialsockels

(27) kann auch durch die Form der Laserstrahlen beeinflusst werden. Der Fokus von Laserstrahlen verläuft in der Tiefe bekannterweise in Form einer Strahltaile, deren kleinster Durchmesser im Fokus liegt. Es ist für die Formgebung der Flanken vorteilhaft, wenn die Laser auf das Maß der Sockeltiefe T_S oder auf das Maß der Lasergravurtiefe T_L oder noch weiter unterhalb der Oberfläche fokussiert sind. Die Sockeltiefe T_S , die Sockelbreite S , das Maß T_0 und die Formgebung der Materialsockel (27) kleiner Rasterpunkte oder anderer kleiner Details für den jeweiligen Druckprozeß können optimiert werden und die Ergebnisse der Optimierung mit den weiteren Daten für die Druckformherstellung abgespeichert werden, damit sie jederzeit als Prozeßdaten (PD) für einen an den jeweiligen Druckprozeß angepaßten Rechenvorgang zur Erzeugung der Modulationsdaten für eine optimale Zylindergravur abgerufen werden können.

[0062] Die Form einer Schulter (29) und einer Kontur (K) zwischen der Randzone (R) und dem Grobbereich (GB) wird durch das zum Ausheben der Tiefe T_0 benutzte Bearbeitungswerkzeug der Aushebevorrichtung (8) bestimmt.

[0063] Fig. 5 zeigt in einem Blockdiagramm die Signalierung für die Materialbearbeitungsvorrichtung.

[0064] Ein Rechner (30) ist mit einem Speicher (31) und einer Ausgabeeinheit (32) verbunden, an welche die erste Steuerungseinheit (10) anschließt. Auf einen ersten Eingang (33) des Rechners (30) werden die Aufzeichnungsdaten (AD) der Druckvorlage (DV) für den Druckzylinder (2) und auf einen zweiten Eingang (34) des Rechners (30) die Prozeßdaten (PD) für den vorgesehenen Druckprozeß eingegeben. Der Rechner (30) erzeugt erste Steuersignale (FS, SD), die über die erste Steuerungseinheit (10) und über Leitungen (35, 37) der Laserstrahlungsquelle (4, 5) zur Bearbeitung der Feinbereiche (FB), der Randzonen (R) und der Grobbereiche (GB) zugeführt werden. Der Rechner (30) erzeugt außerdem zweite Steuersignale (GS), die über die erste Steuerungseinheit (10) und über eine Leitung (36) an die Aushebevorrichtung (8) zur Aushebung der Grobbereiche (GB) gegeben werden. Die Steuerdaten (SD) beeinflussen über Intensität und/oder Fokus des Laserstrahls (6) die Feinbearbeitung von Details wie beispielsweise der Materialsockel, der Flanken und/oder der Oberfläche.

[0065] Weiterhin ist eine zweite Steuerungseinheit (38) zur Steuerung der Auswuchtungseinrichtung (14) für den Druckzylinder (2) vorgesehen, die Bestandteil der ersten Steuerungseinheit (10) sein kann. Die Auswuchtungseinrichtung (14) enthält mindestens einen Meßaufnehmer (39) zur Feststellung der Unwucht des Druckzylinders (2), einen Impulsgeber (40) zur Feststellung der jeweiligen Umfangslage des rotierenden Druckzylinders (2) sowie mindestens einen Sensor (41). Die Signale von Meßaufnehmer (39), Impulsgeber (40) und Sensor (41) werden der zweiten Steuerungseinheit (38) über Leitungen (42) zugeführt, welche aus den zugeführten Signalen Steuersignale (AS) für den Auswuchtungsvorgang erzeugt, die der Auswuchtungseinrichtung (14) über eine Leitung (43) zugeführt werden.

[0066] Fig. 6 zeigt eine Teilansicht des Druckzylinders (2) und ein Ausführungsbeispiel für die Auswuchtungseinrichtung (14) an dem Druckzylinder (2) in einer Seitenansicht.

[0067] Fig. 7 zeigt eine dazugehörige Schnittr Ansicht durch die Auswuchtungseinrichtung (14).

[0068] Das sichtbare Wellenende (45) des Druckzylinders (2) ist in einem Lager (46) drehbar gelagert. Das Lager (46) liegt in einem Lagerbock (47), der sich auf einem Maschinenbett (48) der Materialbearbeitungsvorrichtung befindet. Das nicht dargestellte Lager des anderen Wellenendes des Druckzylinders (2) liegt in einem ebenfalls nicht dargestellten zweiten Lagerbock.

[0069] Die Auswuchtungseinrichtung (14) besteht in dem

beschriebenen Ausführungsbeispiel im wesentlichen aus mindestens einer Halterungsvorrichtung (49) am Druckzylinder (2) und aus mindestens einer ortsfesten Versetzungsvorrichtung (50), die durch die in der zweiten Steuereinheit (38) erzeugten Steuersignale (AS) gesteuert wird.

[0070] In dem Ausführungsbeispiel befindet sich eine scheibenförmige Halterungsvorrichtung (49) an der linken Stirnseite des Druckzylinders (2). In der Halterungsvorrichtung (49) werden vorzugsweise mehrere Massenelemente (51) mit identischen oder unterschiedlichen Massen zur Kompensation von Unwuchten gehalten.

[0071] Mittels der Versetzungsvorrichtung (50) können die Massenelemente (51) in einer beliebigen Umfangslage des mit der Betriebsdrehzahl rotierenden Druckzylinders (2) zwecks Ausgleich von störenden Unwuchten in die Halterungsvorrichtung (49) eingefügt, aus der Halterungsvorrichtung (49) entfernt oder aufgrund der Drehbewegung des Druckzylinders (2) gegenüber der ortsfesten Versetzungsvorrichtung (50) durch Abheben auf definierte Umfangspositionen entgegen der Drehbewegung versetzt werden. Der jeweilige Umfangversatz ist dabei von der Dauer, für die ein Massenelement (51) von der Halterungsvorrichtung (49) abgehoben ist, und von der Drehgeschwindigkeit des Druckzylinders (2) abhängig. Durch eine geeignete Ausbildung der Versetzungsvorrichtung (50) können die Massenelemente (51) in der Halterungsvorrichtung (49) sowohl umfangsmäßig als auch radial versetzt werden.

[0072] Die Halterungsvorrichtung (49) an dem Druckzylinder (2) kann als Magnethalterung ausgebildet sein. Die Magnethalterung weist beispielsweise eine Vielzahl von stabförmigen Dauermagneten (52) auf, die in der Halterungsvorrichtung (49), wie in Fig. 7 sichtbar, in zwei voneinander beabstandeten, kreisförmig verlaufenden Reihen unterschiedlicher Polarität angeordnet sind. Die Zwischenräume zwischen den Dauermagneten (52) können teilweise oder ganz mit einem nicht magnetischen Material (53) gefüllt sein, das eine ebene Auflagefläche für die Massenelemente (51) bildet. Über die Dicke des Materials (53) können geringe Luftspalte zwischen den Massenelementen (51) und den Dauermagneten (52) eingestellt werden, um die Magnetkräfte derart anzupassen, daß ein sicheres Festhalten der Massenelemente (51) in beliebigen Umfangspositionen bei Rotation des Druckzylinders (2) gewährleistet ist.

[0073] Die Massenelemente (51) bestehen z. B. aus einem ferromagnetischen Material. In dem Ausführungsbeispiel sind die Massenelemente (51) als Kreisringsegmente gestaltet, die in der Halterungsvorrichtung (49) geführt werden. Dargestellt sind zwei sich diametral gegenüber liegende segmentförmige Massenelemente (51), die sich in Umfangsrichtung des Druckzylinders (2) jeweils über einen Winkel von beispielsweise 90° erstrecken. Die Gesamtmasse der Massenelemente (51) ist so ausgelegt, daß sie die erwarteten Unwuchten des Druckzylinders (2) ausgleichen kann.

[0074] Die Versetzungsvorrichtung (50) ist auf einem Block (54) montiert, der sich auf dem Maschinenbett (48) befindet. Die Versetzungsvorrichtung (50) weist beispielsweise einen durch die Steuersignale (AS) gesteuerten Elektromagneten (55) als Stellglied auf. Der Elektromagnet (55) hat einen definierten Abstand (56) zu den Massenelementen (51) in der Halterungsvorrichtung (49). Die Magnetkraft des Elektromagneten (55) ist so ausgelegt, daß er die Massenelemente (51) von der Magnethalterung der Halterungsvorrichtung (49) sicher abheben kann. In dem Ausführungsbeispiel ist der Meßaufnehmer (39) zur Vibrationsmessung an dem Lagerbock (47) angebracht. Weitere Meßaufnehmer können an dem nicht sichtbaren zweiten Lagerbock oder an jeder anderen geeigneten Stelle der Materialbearbeitungsvorrichtung angebracht sein. Der Impulsgeber (40) stellt die

jeweilige Umfangslage des rotierenden Druckzylinders (2) gegenüber der ortsfesten Versetzungsvorrichtung (50) fest. Der ortsfeste Sensor (41) befindet sich beispielsweise an der Versetzungsvorrichtung (50), kann aber auch an anderer Stelle ortsfest angebracht sein. Der Sensor (41) ermittelt die relativen Umfangspositionen der Massenelemente (51) in der rotierenden Halterungsvorrichtung (49).

[0075] Die Vibrationsmeßwerte des Meßaufnehmers (39) liefern zusammen mit den Impulsen des Impulsgebers (40) eine Aussage über die Größe und Umfangslage der Unwucht des Druckzylinders (2). Die Steuersignale (AS) für die Versetzungsvorrichtung (50) werden in der zweiten Steuereinheit (38) in Abhängigkeit von Größe und Umfangslage der Unwucht und von der mittels des Sensors (41) festgestellten relativen Umfangspositionen der Massenelemente (51) in der rotierenden Halterungsvorrichtung (49) erzeugt. Die Massenelemente (51) können codiert sein, so daß der Sensor (41) die Massenelemente (51) in der Halterungsvorrichtung (49) unterscheiden kann.

[0076] Durch die Möglichkeit, Massenelemente (51) einzufügen und/oder zu entfernen, läßt sich in vorteilhafter Weise ein breites Spektrum von Unwuchten, die sich während des Betriebs auch noch ändern können, ausgleichen. Vorzugsweise wird die Versetzungsvorrichtung (50) mit impulsartigen Steuersignalen (AS) von kurzer Dauer angesteuert, so daß das Versetzen der Massenelemente (51) in die erforderlichen Umfangspositionen schrittweise um kleine Beträge erfolgt. Dadurch können relativ große Massenelemente (51) bei hoher Betriebsdrehzahl versetzt werden, ohne daß der Gleichlauf des Druckzylinders (2) wesentlich beeinflusst wird.

[0077] Je nachdem, ob das eine oder das andere Massenelement (51) verschoben wird, kann ein Massenausgleich für die eine oder andere Hälfte des Druckzylinders (2) erreicht werden. Wurde die Unwucht nach dem Verschieben eines der Massenelemente (51) größer, kann dies durch Verschieben des anderen Massenelements (51) korrigiert werden. Stehen beide Massenelemente (51), wie in Fig. 7 gezeigt, diametral gegenüber, so verhalten sie sich neutral.

[0078] Durch wiederholtes Messen der momentanen Maschinenvibration und durch wiederholtes Verschieben des einen oder des anderen Massenelements (51) läßt sich die aufgrund des Materialabtrags ständig ändernde Unwucht des Druckzylinders (2) während des Betriebs der Materialbearbeitungsvorrichtung in vorteilhafter Weise dynamisch korrigieren.

[0079] Bei der Gewinnung der Steuersignale (AS) für die Versetzungsvorrichtung (50) können auch die ersten und zweiten Steuersignale (FS, SD, GS) berücksichtigt werden, so daß die dynamische Kompensation einer Unwucht nicht nur in Abhängigkeit von gemessenen Maschinenvibrationen, sondern in vorteilhafter Weise auch unter Berücksichtigung des tatsächlichen Materialabtrags durch die Laserstrahlungsquelle (4, 5) und/oder durch die Aushebvorrichtung (8) erfolgt.

[0080] Nachdem der gesamte Bearbeitungsvorgang beendet ist und die Auswuchtung des Druckzylinders (2) gegebenenfalls noch einmal kontrolliert wurde, können die optimal positionierten Massenelemente (51) durch nicht dargestellte Elemente, z. B. durch Schrauben, an der Halterungsvorrichtung (49) fixiert werden. Der derart ausgewuchtete Druckzylinder (2) kann dann direkt in eine Druckmaschine übernommen werden.

[0081] Die Auswuchtungseinrichtung (14) ist nicht auf das dargestellte konstruktive Ausführungsbeispiel beschränkt. Halterungsvorrichtungen (49) können nicht nur an mindestens einer Stirnseite, sondern beispielsweise auch am Umfang des Druckzylinders (2) angebracht werden.

[0082] Die Versetzungsvorrichtung (50) muß nicht ortsfest sein, sondern kann beispielsweise auch Elektromotoren enthalten, die sich an der mit dem Druckzylinder (2) rotierenden Halterungsvorrichtung (49) befinden und mittels Schleifringen oder kontaktlos gespeist und gesteuert werden.

[0083] Fig. 8 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine mechanische Aushebevorrichtung (8) als elektromechanisches Gravierorgan.

[0084] Das Gravierorgan ist am Umfang des rotierenden Druckzylinders (2) auf einem nicht dargestellten Schlitten angeordnet, so daß es sich relativ zur Bearbeitungsschicht (3) des Druckzylinders (2) in der Richtung z bewegen kann. Die Umfangsrichtung der Rotation des Druckzylinders (2) ist mit y bezeichnet. Ein Gravierstichel (58) ist mit einem Halter (59) an einer Achse (60) eines Ankers (61) eines Magnetsystems (62) befestigt und wird von den Magnetkräften eines Jochs (63), das über Wicklungen (64) erregt wird, in der Richtung x hin- und herbewegt. Das Rückstellmoment des Magnetsystems (62) stellen ein oder mehrere nicht gezeigte Torsionsstäbe dar, mit welchen der Anker (61) auch gelagert sein kann. Der Hub x des Gravierstichels (58) kommt also durch eine Drehung des Ankers (61) bei gleichzeitiger Verdrehung der Torsionsstäbe zustande. Der Gravierstichel (58) zur Gravur von Druckzylindern für den Tiefdruck besteht üblicherweise aus Diamant. Für die Gravur von Druckzylindern für den Flexodruck können aber auch andere Gravierstichel beispielsweise aus Stahl, Hartmetall oder Saphir eingesetzt werden. Das Magnetsystem (62) ist an einer Platte (65) befestigt, die auch als Dauermagnet zur Unterstützung der Magnetkraft ausgebildet sein kann.

[0085] Zum Einstellen eines kontrollierten Abstandes zwischen der Aushebevorrichtung (8) und der Bearbeitungsschicht (3) ist ein Abstandshalter (66) vorgesehen, dessen Lage mittels eines nicht dargestellten Feingewindes verändert werden kann, so daß der Gravierstichel (58) in der Richtung x in seiner Nulllage auf eine definiertes Maß in Bezug auf die Oberfläche (O) der Bearbeitungsschicht (3) eingestellt werden kann. Der Freiwinkel α und der Spanwinkel γ des Gravierstichels (58) können an die zu bearbeitenden Materialien angepaßt werden.

[0086] Der Vorgang der Spanbildung beim Trennen von Werkstoffen ist im "Dubbel" - Das elektronische Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer-Verlag 1999, Teil S. Fertigungsverfahren, Teil 4, Trennen - beschrieben. Härtere Materialien erfordern bekanntlich andere Winkel als weichere Materialien.

[0087] Fig. 9 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine Aushebevorrichtung (8) mit einer Laserquelle (67). Die Laserquelle (67) kann aus mehreren Laserdioden (68) bestehen, deren Laserstrahlung in optische Wellenleiter (69) eingekoppelt und dem Grobbearbeitungsfleck (9) über eine Optik (71) zugeführt wird. Ein weitergehendes Ausführungsbeispiel für eine Laserquelle ist beispielsweise in der DE-A-197 23 269 angegeben.

[0088] Zwischen der Laserquelle (69) und dem Grobbearbeitungsfleck (9) kann ein weiterer optischer Wellenleiter (70) eingefügt sein, der die Laserstrahlung aus einer Vielzahl von Laserdioden (68) der Laserquelle (67) zusammenfaßt. Die Laserquelle (67) kann alternativ auch aus mindestens einem CO₂-Laser bestehen.

[0089] Die Modulation der Laserstrahlung für den Grobbearbeitungsfleck (9) wird vorzugsweise durch eine direkte Modulation der Laserquelle (67), beispielsweise über den Betriebsstrom, vorgenommen, wobei die Modulationssignale in der ersten Steuerungseinheit (10) erzeugt werden.

[0090] Fig. 10 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine berührungslose Abstandsmessung und Abstandsregelung zwi-

schen der Aushebevorrichtung (8) oder Teilen davon und der Bearbeitungsschicht (3) des Druckzylinders (2). Eine Meßeinrichtung (74) stellt Abweichungen der Oberfläche der Bearbeitungsschicht (3) gegenüber der Aushebevorrichtung (8) fest. Die Meßeinrichtung (74) besteht aus einer Laserdiode (74') und einem Positionsdetektor (74''), dessen Ausgangssignal ein Maß für den Abstand zwischen der Oberfläche der Bearbeitungsschicht (3) und der Aushebevorrichtung (8) ist.

[0091] Die Laserdiode (74') erzeugt einen Laserstrahl, der unter einem Winkel auf die Oberfläche der Bearbeitungsschicht (3) gerichtet ist. Der von der Oberfläche reflektierte Laserstrahl trifft an einem ersten Ort auf den Positionsdetektor (74''), der ein dem ersten Ort entsprechendes erstes Signal erzeugt, wobei durch nicht dargestellte Mittel dafür gesorgt ist, daß der Positionsdetektor (74'') gegen die für die Fein- und Grobbearbeitung verwendeten Laserstrahlen (6, 12) und deren Streustrahlung ausreichend abgeschirmt ist. Ändert sich der Abstand zwischen der Oberfläche der Bearbeitungsschicht (3) und der Aushebevorrichtung (8) infolge einer Verlagerung der Bearbeitungsschicht (3) um eine Abstandsdifferenz D, trifft der reflektierte Laserstrahl an einem zweiten Ort auf den Positionsdetektor (74''), der um einen Betrag D* von dem ersten Ort entfernt ist, wobei der Positionsdetektor (74'') ein zweites Signal erzeugt. Die Differenz zwischen dem ersten und dem zweiten Signal entspricht der Abstandsdifferenz D zwischen der Oberfläche der Bearbeitungsschicht (3) und der Aushebevorrichtung (8). Die Signaldifferenz als Ausgangssignal des Positionsdetektors (74'') steuert einen Regler (75), der eine Steilgröße zur Steuerung eines Antriebs (76) erzeugt. Der Antrieb (76) verstellt entweder die gesamte Aushebevorrichtung (8) oder Teile davon, um einen gleichbleibenden Abstand zwischen der Bearbeitungsschicht (3) und der Aushebevorrichtung (8) oder Teilen davon zu erhalten.

[0092] Wenn die Aushebevorrichtung (8) aus einem elektromechanischen Gravierorgan besteht, kann beispielsweise als verstellbares Teil das Magnetsystem (62) nach Fig. 8 dienen. Eine entsprechende Abstandsregelung kann auch über die Steuerung des Gravierstichels (58) erfolgen.

[0093] Wenn die Aushebevorrichtung (8) aus einer Laserquelle besteht, können als verstellbare Teile gemäß Fig. 9 die Laserquelle (67), der optische Wellenleiter (70) oder die Optik (71) verstellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Materialbearbeitung von Werkstücken, bei dem Feinstrukturen und Grobstrukturen unterschiedlich bearbeitet werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß

- Feinbereiche (FB) eines Werkstücks (2) zur Erzeugung von Feinstrukturen und/oder Grobbereichen (GB) des Werkstücks (2) zur Erzeugung von Grobstrukturen markiert werden,
- eine Bearbeitungsschicht (3) des Werkstücks (2) mindestens in den Feinbereichen (FB) mit mindestens einem Laserstrahl (6) einer gesteuerten Laserstrahlungsquelle (4, 5) fein bearbeitet wird und
- die Bearbeitungsschicht (3) in den Grobbereichen (GB) mit einer gesteuerten Aushebevorrichtung (8) grob bearbeitet oder nachgearbeitet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß

- in der Aushebevorrichtung (8) mindestens ein Laserstrahl (12) erzeugt wird und
- die Bearbeitungsschicht (3) in den Grobberei-

- chen (GB) des Werkstücks (2) mittels des Laserstrahls (12) in einer Grobbearbeitungsspur (25) grob abgetragen oder nachgearbeitet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (12) in mindestens einer Laserdioden (68) erzeugt wird, deren Laserstrahlung in mindestens einen optischen Wellenleiter (69) eingekoppelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (12) der Aushebevorrichtung (8) direkt moduliert wird.
5. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (12) der Aushebevorrichtung (8) dem Werkstück (2) über mindestens einen optischen Wellenleiter (70) zugeführt wird, um einen Grobbearbeitungsfleck (9) zu erzeugen.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
- die Aushebevorrichtung (8) ein mechanisches Bearbeitungswerkzeug aufweist und
 - die Bearbeitungsschicht (3) in den Grobbereichen (GB) des Werkstücks (2) mit dem mechanischen Bearbeitungswerkzeug grob abgetragen oder nachgearbeitet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungsschicht (3) in den Grobbereichen (GB) des Werkstücks (2) mit einem Gravierstichel (58) als mechanisches Bearbeitungswerkzeug grob abgetragen oder nachgearbeitet wird.
8. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß in der Laserstrahlungsquelle (4, 5) mehrere Laserstrahlen (6) zur Materialbearbeitung in mehreren Feinbearbeitungsspuren (24) erzeugt werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlen (6) mittels Fiberlasern (5) erzeugt werden.
10. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite der Grobbearbeitungsspur (25) der Aushebevorrichtung (8) mehrere Feinbearbeitungsspuren (24) der Laserstrahlungsquelle (4, 5) umfaßt.
11. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Feinbereiche (FB) und/oder die Grobbereiche (GB) in einer Bearbeitungsvorlage für das Werkstück (2) markiert werden.
12. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Feinbearbeitung der Feinbereiche (FB) und die Grobbearbeitung der Grobbereiche (GB) in einem Arbeitsgang erfolgt.
13. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß während der Materialbearbeitung der Abstand zwischen der Laserstrahlungsquelle (4, 5) und der Bearbeitungsschicht (3) des Werkstücks (2) und/oder zwischen der Aushebevorrichtung (8) oder Teilen davon und der Bearbeitungsschicht (3) des Werkstücks (2) annähernd konstant gehalten wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß
- der Abstand gemessen wird und
 - die Meßergebnisse für eine Abstandsregelung herangezogen werden.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstandsmessung berührungslos erfolgt.
16. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das von dem

- Werkstück (2) abgetragene Material abgesaugt wird.
17. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das mit der Aushebevorrichtung (8) grob abzutragende Material im Bereich des Grobbearbeitungsflecks (9) gekühlt wird.
18. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 17 dadurch gekennzeichnet, daß um die Feinbereiche (FB) jeweils eine Randzone (R) gelegt wird, um die Feinbereiche (FB) von den Grobbereichen (GB) abzugrenzen.
19. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 18 dadurch gekennzeichnet, daß
- das zu bearbeitende Werkstück (2) ein rotierender Körper ist und
 - eine Unwucht des Körpers (2) während der Materialbearbeitung automatisch festgestellt und mittels einer Auswuchtungseinrichtung (14) kompensiert wird.
20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß
- mindestens ein, vorzugsweise mehrere Massenelemente (51), in einer Halterungsvorrichtung (49) durch Haftung gehalten werden und
 - eine ortsfeste Versetzungsvorrichtung (50) derart gesteuert wird, daß Massenelemente (51) aus der Halterungsvorrichtung (49) entfernt, in die Halterungsvorrichtung (49) eingefügt oder in der Halterungsvorrichtung (49) auf definierte Positionen des Körpers (2) versetzt werden.
21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß
- Massenelemente (51) durch Abheben und Wiedereinsetzen aus der bzw. in die Halterungsvorrichtung (49) während der Rotation des Körpers (2) umfangmäßig und/oder radial versetzt werden und
 - der Versatz eines Massenelements (51) von der Dauer, für die das Massenelement (51) von der Halterungsvorrichtung (49) abgehoben wird, und von der Rotationsgeschwindigkeit des Körpers (2) bestimmt wird.
22. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Massenelemente (51) schrittweise in die definierten Positionen versetzt werden.
23. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß
- die durch eine Unwucht des rotierenden Körpers (2) verursachten Vibrationen gemessen werden und
 - die Versetzungsvorrichtung (50) für die Massenelemente (51) in Abhängigkeit von den gemessenen Vibrationen gesteuert wird.
24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Kompensation der Unwucht erforderliche, definierte Lage der Massenelemente (51) in der Halterungsvorrichtung (49) aus der gemessenen Vibration ermittelt wird.
25. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß der rotierende Körper (2) eine Druckform, vorzugsweise ein Druckzylinder, ist.
26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß
- die Bearbeitungsvorlage eine Druckvorlage (DV) der Druckform (2) ist, Aufzeichnungsdaten (AD) die auf die Druckform (2) zu bringende Information repräsentieren und

- die Aufzeichnungsdaten (AD) der Druckform (2) in erste Steuersignale (FS, SD) zur Bearbeitung der Feinbereiche (FB), der Randzonen (R) und der Grobbereiche (GB) und in zweite Steuersignale (GS) zur Grobbearbeitung der Grobbereiche (GB) umgewandelt werden.
- 27. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlungsquelle (4, 5) in Abhängigkeit von den ersten Steuersignalen (FS, SD) gesteuert wird.
- 28. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Aushebevorrichtung (8) in Abhängigkeit von den zweiten Steuersignalen (GS) gesteuert wird.
- 29. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 25 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß in der Druckform (2) kleine zu druckende Elemente (20) jeweils durch Materialsockel (27) abgestützt werden, welche bei der Materialbearbeitung erzeugt werden.
- 30. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 25 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche kleiner druckender Elemente (20) um kleine Beträge von der Oberfläche (O) der Druckform (2) abweichen.
- 31. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 25 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß zur Materialbearbeitung eine Druckform (2) verwendet wird, deren Bearbeitungsschicht (3) folgenden Materialaufbau aufweist:
 - eine mit einem Träger (15) verbundene erste Materialschicht (16), deren Materialeigenschaften an die Erzeugung von Grobstrukturen durch die Aushebevorrichtung (8) angepaßt sind und
 - eine über der ersten Materialschicht (16) liegende zweite Materialschicht (17), deren Materialeigenschaften an die Erzeugung von Feinstrukturen durch die Laserstrahlungsquelle (4, 5) angepaßt sind.
- 32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß der in der Laserstrahlungsquelle (4, 5) erzeugte Laserstrahl (6) in den Feinbereichen (FB) die zweite Materialschicht (17) bearbeitet und in den Randzonen (R) und den Grobbereichen (GB) die zweite Materialschicht (17) abträgt.
- 33. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 25 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckform (2) für den Flexodruck verwendet wird.
- 34. Vorrichtung zur Materialbearbeitung von Werkstücken mittels Laserstrahlung, gekennzeichnet durch
 - eine mindestens einen Laserstrahl (6) erzeugende, steuerbare Laserstrahlungsquelle (4, 5), um eine Bearbeitungsschicht (3) eines Werkstücks (2) mindestens in Feinbereichen (FB) des Werkstücks (2) fein zu bearbeiten und
 - eine steuerbare Aushebevorrichtung (8), um die Bearbeitungsschicht (3) in Grobbereichen (GB) des Werkstücks (2) grob zu bearbeiten oder nachzuarbeiten.
- 35. Vorrichtung nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Aushebevorrichtung (8) als eine mindestens einen Laserstrahl (12) erzeugende Laserquelle (67) ausgebildet ist, um die Bearbeitungsschicht (3) in den Grobbereichen (GB) des Werkstücks (2) grob abzutragen oder nachzuarbeiten.
- 36. Vorrichtung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserquelle (67) der Aushebevorrichtung (8) mindestens eine Laserdioden (68) aufweist.
- 37. Vorrichtung nach Anspruch 35 und 36, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserquelle (67) der Aushebe-

- vorrichtung (8) mindestens einen optischen Wellenleiter (69) aufweist, in den die in den Laserdioden (68) erzeugte Laserstrahlung einkoppelbar ist.
- 38. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 35 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Laserquelle (67) und dem Werkstück (2) mindestens ein optischer Wellenleiter (70) angeordnet ist, um den Laserstrahl (12) der Bearbeitungsschicht (3) des Werkstücks (2) in einem Grobbearbeitungsfleck (9) zuzuführen.
- 39. Vorrichtung nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß die Aushebevorrichtung (8) mit einem mechanischen Bearbeitungswerkzeug ausgerüstet ist, um das Material in den Grobbereichen (GB) des Werkstücks (2) in einer Grobbearbeitungsspur (25) grob abzutragen oder nachzuarbeiten.
- 40. Vorrichtung nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Aushebevorrichtung (8) als Gravierorgan mit einem Gravierstichel (58) als mechanisches Bearbeitungswerkzeug ausgebildet ist.
- 41. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 35 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlungsquelle (4, 5) als mehrere Feinbearbeitungsspuren (24) erzeugende Mehrstrahl-Laserstrahlungsquelle ausgebildet ist.
- 42. Vorrichtung nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlungsquelle (4, 5) aus Faserlasern (5) aufgebaut ist.
- 43. Vorrichtung nach Anspruch 39 und 41, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite der Grobbearbeitungsspur (25) des Bearbeitungswerkzeuges der Aushebevorrichtung (8) die Breite mehrerer Feinbearbeitungsspuren (24) der Mehrstrahl-Laserstrahlungsquelle (4, 5) umfaßt.
- 44. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 34 bis 43, dadurch gekennzeichnet, daß eine Meßeinrichtung (74) vorgesehen ist, um während der Materialbearbeitung den Abstand zwischen der Laserstrahlungsquelle (4, 5) und der Bearbeitungsoberfläche (3) des Werkstücks (2) und/oder zwischen der Aushebevorrichtung (8) oder Teilen davon und der Bearbeitungsoberfläche (3) des Werkstücks (2) zu messen.
- 45. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 34 bis 44, dadurch gekennzeichnet, daß eine Regelungseinrichtung (75, 76) vorgesehen ist, um während der Materialbearbeitung den Abstand zwischen der Laserstrahlungsquelle (4, 5) und der Bearbeitungsoberfläche (3) des Werkstücks (2) und/oder zwischen der Aushebevorrichtung (8) oder Teilen davon und der Bearbeitungsoberfläche (3) des Werkstücks (2) annähernd konstant zu halten.
- 46. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 34 bis 45, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Absaugeinrichtung (72) vorhanden ist, um das von dem Werkstück (2) abgetragene Material abzusaugen.
- 47. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 34 bis 46, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kühleinrichtung (13) vorgesehen ist, um das mit der Aushebevorrichtung (8) grob abzutragende Material im Bereich des Grobbearbeitungsflecks (9) zu kühlen.
- 48. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 35 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß
 - das zu bearbeitende Werkstück (2) ein rotieren-der Körper ist und
 - eine Auswuchtungseinrichtung (14) vorgesehen ist, um eine Unwucht des Körpers (2) während der Materialbearbeitung automatisch festzustellen und zu kompensieren.

49. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswuchtungseinrichtung (14) aus folgenden Komponenten besteht:
- einer an dem rotierenden Körper (2) befindlichen Halterungsvorrichtung (49),
 - mindestens einem, vorzugsweise mehreren Massenelementen (51), welche in der Halterungsvorrichtung (49) haftbar sind und
 - einer ortsfesten, steuerbare Versetzungsvorrichtung (50) zum Versetzen der Massenelemente (51) in der Halterungsvorrichtung (49), wobei die Versetzungsvorrichtung (50) derart steuerbar ist, daß Massenelemente (51) aus der Halterungsvorrichtung (49) entfernt, in die Halterungsvorrichtung (49) eingefügt oder in der Halterungsvorrichtung (49) in definierte Positionen versetzt werden.
50. Vorrichtung nach Anspruch 48 oder 49, dadurch gekennzeichnet, daß
- die Massenelemente (51) aus einem ferromagnetischen Material bestehen und
 - die Massenelemente (51) in der Halterungsvorrichtung (49) magnetisch haltbar sind.
51. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 48 bis 50, dadurch gekennzeichnet, daß die Versetzungsvorrichtung (50) als steuerbares Element einen Elektromagneten (55) aufweist.
52. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 48 bis 51, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Meßaufnehmer (39) vorgesehen ist, welcher die durch eine Unwucht des rotierenden Körpers (2) verursachten Vibrationen mißt.
53. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 48 bis 52, dadurch gekennzeichnet, daß ein Impulsgeber (40) vorgesehen ist, der die jeweilige Lage des rotierenden Körpers (2) gegenüber der Versetzungsvorrichtung (50) feststellt.
54. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 48 bis 53, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein ortsfester Sensor (41) vorgesehen ist, welcher die relative Lagen der Massenelemente (51) in der Halterungsvorrichtung (49) feststellt.
55. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 48 bis 54, dadurch gekennzeichnet, daß die Versetzungsvorrichtung (50) durch den Meßaufnehmer (39), den Impulsgeber (40) und den Sensor (41) elektrisch steuerbar ist.
56. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 34 bis 55, dadurch gekennzeichnet, daß zur schnelleren Bearbeitung eines Werkstücks (2) mehrere Laserstrahlungsquellen (4, 5) und/oder Aushebevorrichtungen (8) vorhanden sind.
57. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 34 bis 56, dadurch gekennzeichnet, daß der rotierende Körper (2) eine Druckform, vorzugsweise ein Druckzylinder, ist.
58. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 34 bis 57, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlungsquelle (4, 5) in Abhängigkeit von ersten Steuersignalen (FS, SD) steuerbar ist.
59. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 34 bis 58, dadurch gekennzeichnet, daß die Aushebevorrichtung (8) in Abhängigkeit von zweiten Steuersignalen (GS) steuerbar ist.
60. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 34 bis 59, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckform (2) eine Flexodruckform ist.
61. Druckform zur Materialbearbeitung, bestehend aus einem Träger und einer Bearbeitungsschicht, da-

durch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungsschicht (3) folgenden Materialaufbau aufweist:

- eine mit dem Träger (15) verbundene erste Materialschicht (16), deren Materialeigenschaften an die Erzeugung von Grobstrukturen durch Laserstrahlung und/oder durch ein mechanisches Bearbeitungswerkzeug (58) angepaßt sind und
 - eine über der ersten Materialschicht (16) liegende zweite Materialschicht (17), deren Materialeigenschaften an die Erzeugung von Feinstrukturen durch Laserstrahlung angepaßt sind.
62. Druckform nach Anspruch 61, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Materialschicht (16) zur Erzeugung der Grobstrukturen durch ein mechanisches Bearbeitungswerkzeug (58) derart ausgebildet ist, daß sie eine gute Spanbildung ermöglicht.
63. Druckform nach Anspruch 61 oder 62, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Materialschicht (16) aus Hartgummi oder Kunststoff besteht.
64. Druckform nach mindestens einem der Ansprüche 61 bis 63, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der ersten Materialschicht (16) mindestens der maximalen Bearbeitungstiefe bei der Erzeugung der Grobstrukturen entspricht.
65. Druckform nach mindestens einem der Ansprüche 61 bis 64, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Materialschicht (17) zur Erzeugung von Feinstrukturen durch Laserstrahlung derart ausgebildet ist, daß sie eine hohe Empfindlichkeit für die Laserstrahlung aufweist und eine hohe Auflösung bei der Erzeugung der Feinstrukturen ermöglicht.
66. Druckform nach mindestens einem der Ansprüche 61 bis 65, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Materialschicht (17) aus Gummi oder Kunststoff besteht.
67. Druckform nach mindestens einem der Ansprüche 61 bis 66, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der zweiten Materialschicht (17) mindestens der maximalen Bearbeitungstiefe bei der Erzeugung der Feinstrukturen entspricht.
68. Druckform nach mindestens einem der Ansprüche 61 bis 67, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Träger (17) und der ersten Materialschicht (16) eine Unterschicht (18) angeordnet ist.
69. Druckform nach mindestens einem der Ansprüche 61 bis 68, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Träger (15), Unterschicht (18), erster Materialschicht (16) und zweiter Materialschicht (17) jeweils eine Binderschicht (19) angeordnet ist.
70. Druckform nach mindestens einem der Ansprüche 61 bis 69, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten (16, 17, 18) aus flexiblem Material bestehen.
71. Druckform nach mindestens einem der Ansprüche 61 bis 70, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckform eine Flexodruckform ist.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

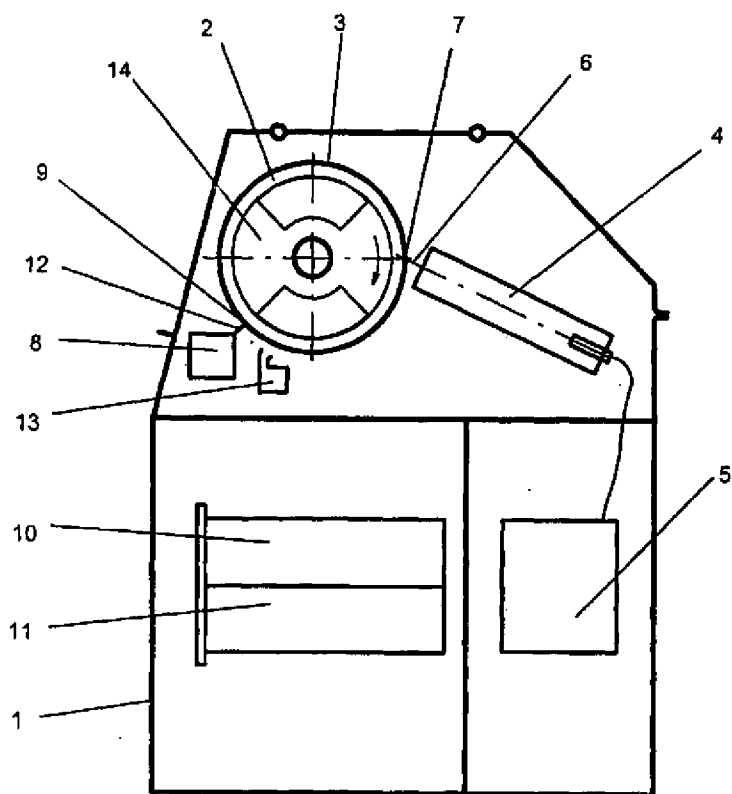


Fig. 1

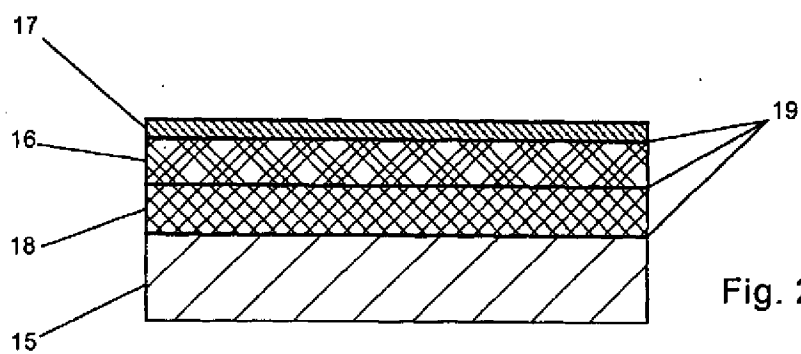


Fig. 2

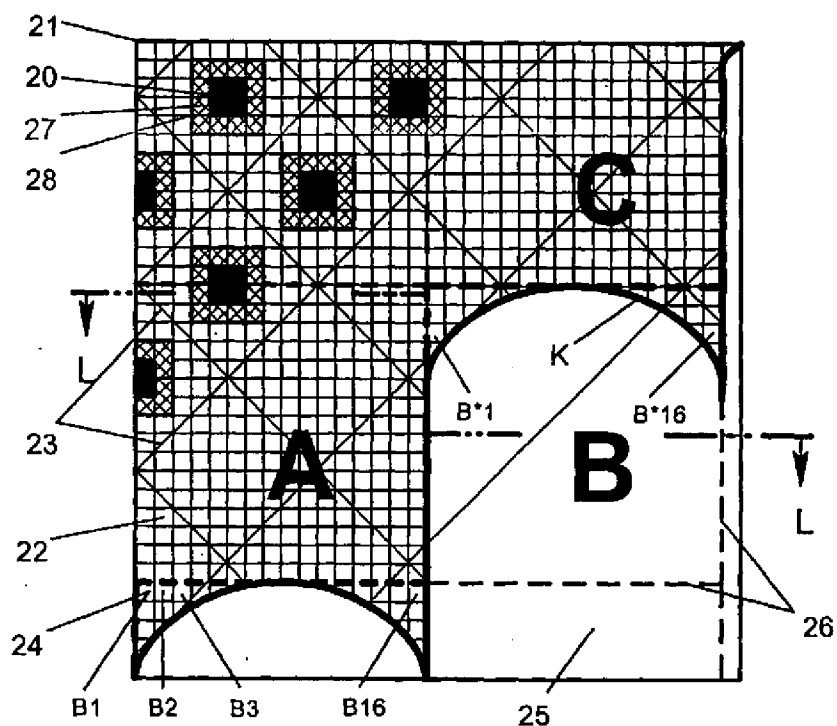


Fig. 3

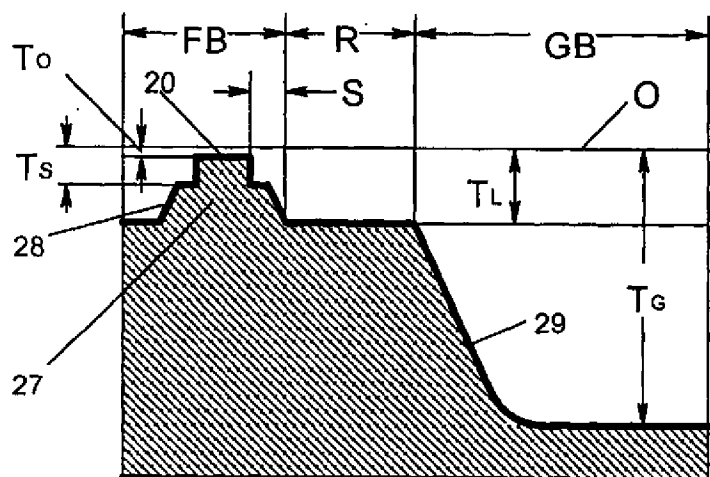


Fig. 4

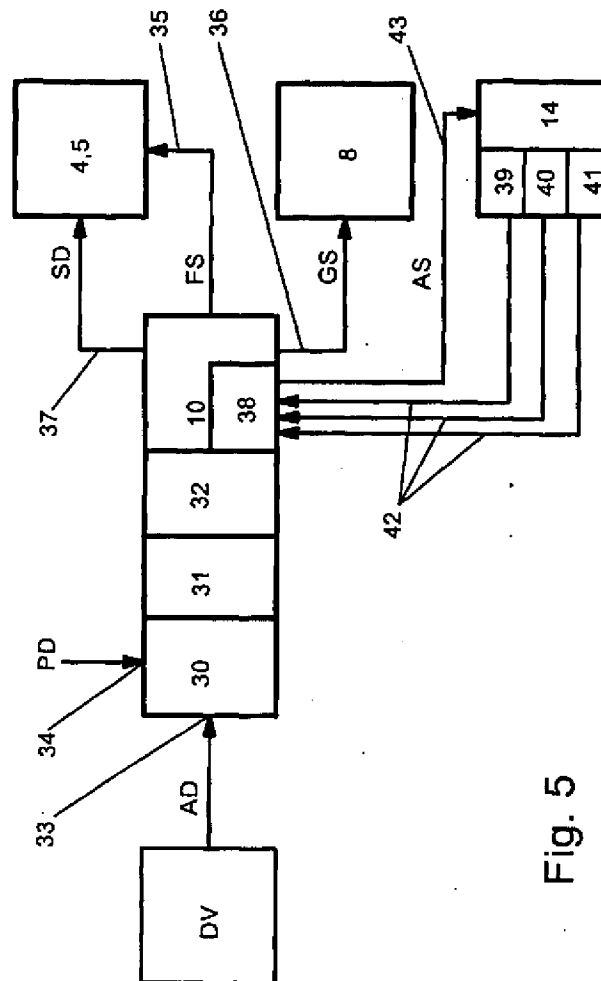


Fig. 5

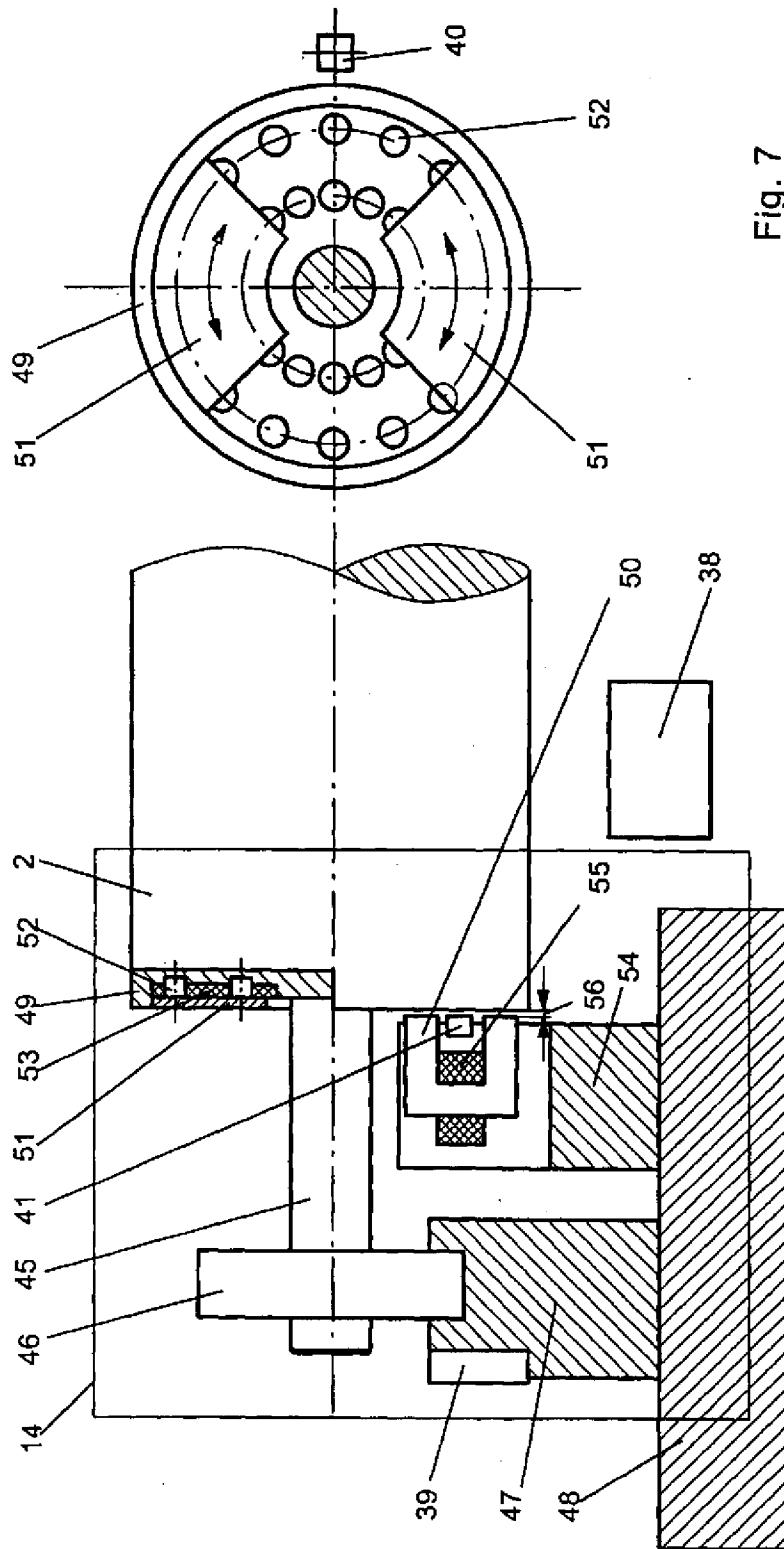


Fig. 7

Fig. 6

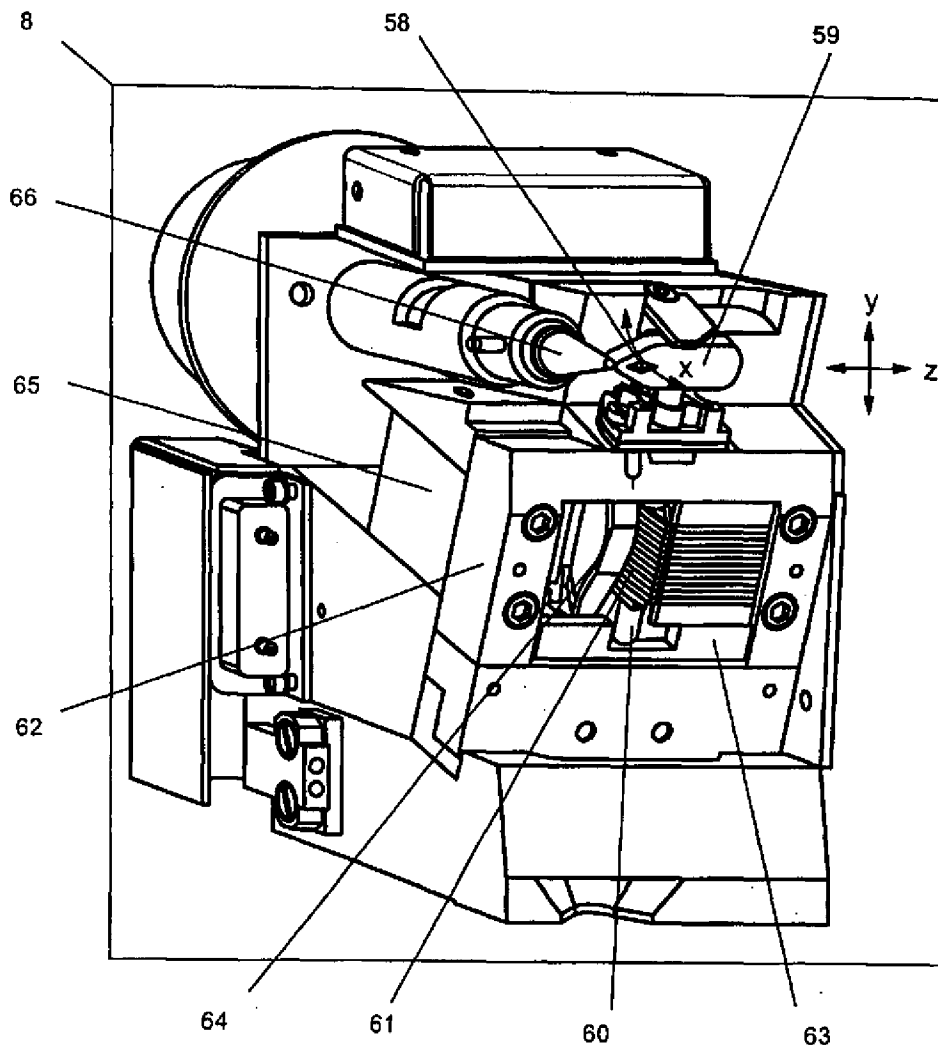


Fig. 8

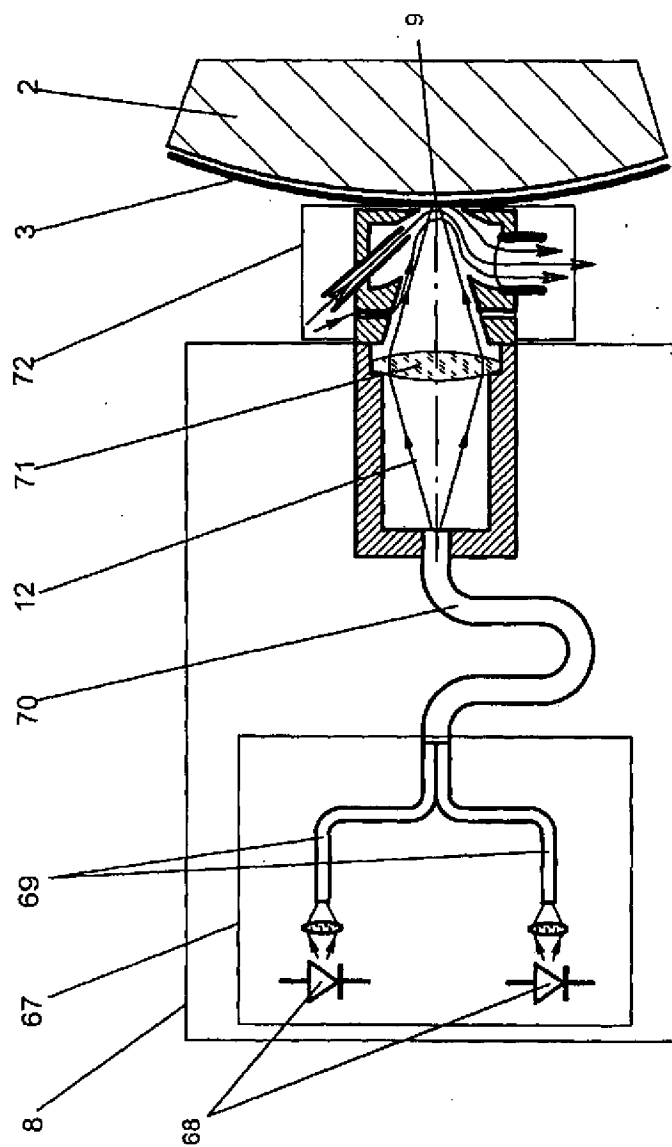


Fig. 9